

(52) ゴムラテックスモルタルを合成した 鋼床版応力の解析的研究

永生 洋樹¹・星埜 正明²・大垣 賀津雄³・杉浦 江³

¹学生員 日本大学 大学院理工学研究科社会交通工学専攻 (〒160-0004 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: einama_hiroki@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

²正会員 工博 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (〒160-0004 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: hoshino@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

³正会員 工博 川崎重工業株式会社 大型構造物ビジネスセンター 橋梁・水門技術部
(〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島8)

E-mail: ohgaki_kazuo@khi.co.jp

³正会員 工修 川崎重工業株式会社 大型構造物ビジネスセンター 橋梁・水門技術部
(〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島8)

E-mail: sugiura_hiro@khi.co.jp

鋼床版桁は、高速道路橋や都市内高架橋等において代表的な構造形式として採用されているが、近年、交通量の多い都市内橋梁や湾岸道路を中心として鋼床版の疲労損傷が発生してきている。鋼床版のデッキプレートとUリブとの溶接部では、Uリブの内面からデッキプレートにき裂が進展した場合その発見が困難であり、路面の陥没事故が突然発生する可能性がある。これらの箇所は自動車輪荷重が直接載荷されることで鋼床版を構成する板が曲げなどの局所的な変形挙動を示し、局所的に大きな応力が繰り返し発生することによって疲労損傷に繋がっていると考えられる。筆者らは、夏場にヤング係数が著しく低下するグースアスファルト等の鋼床版の基層材料に置き換えて、ゴムラテックスモルタルを鋼床版に合成させることを提案した。本研究は、その合成効果により鋼床版に発生する応力がどの程度低減されるか検討するため、FEM解析を実施したものである。

Key Words : steel deck slab, gum- latex, mortar, composite structure, FEM analysis

1. はじめに

鋼床版は軽量であるため、大スパンの橋梁やランプ橋などで採用されてきた。しかし、近年、交通量の多い橋梁を中心として数多くの疲労損傷が報告されている。本研究ではそれらの疲労損傷の中でも鋼床版のデッキプレートに発生する損傷に着目する。鋼床版(図1-1)は比較的薄いデッキプレートとそれを補剛する縦リブや横リブなどの多数の薄い部材によって構成された構造であり、鋼床版のデッキプレートとUリブとの溶接部では、Uリブの内面からデッキプレート上面方向に向かって亀裂が進展した場合(図1-2)その発見が難しく、舗装に直接の影響を及ぼす可能性もある。これらの箇所は自動車輪荷重が直接載荷されることで鋼床版を構成する板が曲げなどの局所的な変形挙動を示し、局所的に大きな応力が繰り返し発生することによって疲労損傷に繋がっていると考えられる。また、影響線長さ

によって輪重による応力発生パターン、応力範囲が異なってくることは知られているが、特に疲労が問題となるディテールでの応力はその影響線長さが短く、車軸ごとに1回の応力変動を生じさせるため、その高い応力頻度も損傷原因のひとつである¹⁾。これらの箇所は複数の部材が複雑に交差していることもあり、両側すみ肉溶接や完全溶け込み溶接をすることで応力集中の緩和が可能であるが、実際そのような施工をすることは困難であり、溶接サイズを大きくする、デッキプレートの厚みを上げる等の対策がとられているが²⁾、経済性に問題が残る。また、鋼床版桁内には同じディテールが数多くあるため、疲労損傷が生じた場合、損傷箇所が広範囲に及ぶ可能性が高い。

それらに対して本研究では、標準的なUリブを有する鋼床版桁を対象として、グースアスファルト等の鋼床版の基礎材料に置き換えて、ゴムラテックスモルタルを鋼床版に合成することを提案し、それによって鋼床

版の応力がどの程度低減されるか検討するものである。

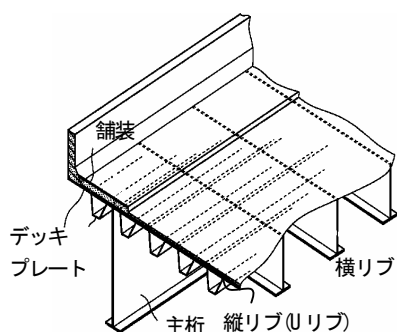


図1-1 鋼床版の一般形状

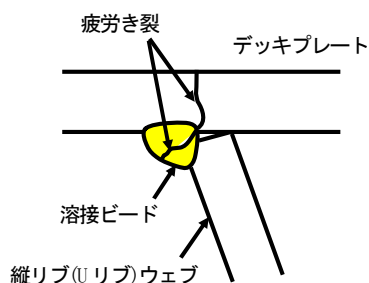


図1-2 閉断面リブとデッキプレートの溶接

2. ゴムラテックスモルタルの特徴

今回対象とするゴムラテックスモルタルは、スチレンブタジエンゴム (SBR) をベースとしたゴムラテックス乳剤を混入したものであり、ポリマーセメントモルタルの一種である(表 2-1)。スチレンブタジエンゴムを混入したモルタルに関しては、倉庫の床面、ガソリンスタンドの路面、貯水タンクおよび屎尿処理場のライニングなどの、建造物に数多くの適用事例がある。これまでにを行った基礎実験³⁾によると、P/C が 5.5% から 11% のモルタル供試体の圧縮強度および引張強度は普通モルタルに比べて優れた特性を示し、また、繰り返し引張荷重による疲労試験や曲げ変形試験により、引張強度と鋼材への変形追従性が高いことが確認されている。

以上のことから、モルタルにゴムラテックスを混入することにより、引張強度が大きく、鉄筋の変形に対する追従性が高い、ひび割れに強い床版になること、また、圧縮強度、引張強度、水密性が高まることから、鋼床版の長寿命化や LCC 低減にも繋がると期待されている。

表 2-1 ゴムラテックスモルタルの性状

外観	乳白色
全固形分	45.0 ± 1.0%
PH	9 ± 1
粘度 (20℃)	200mPa・s 以下
見かけ比重	1.00 ± 0.05
圧縮強度	32.3N/mm ²
ヤング係数	21kN/mm ²

3. 鋼床版への適用方法

図3-1に示すように鋼床版デッキプレートの上面に厚さ40mm程度のゴムラテックスモルタルを舗装基礎として施工し、複合板としてデッキプレートの剛性を確保する。この場合の剛性はヤング係数比を10として計算した場合、12mmの鋼床版は40mmのゴムラテックスモルタルを施工することにより、板曲げ剛性が17倍(31mm相当)であると評価できる。

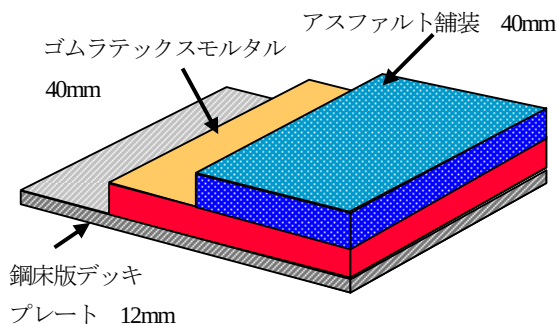


図3-1 ゴムラテックスモルタル鋼床版

4. FEM解析結果の概要

図 4-1 に示すような全橋の解析モデルを検討したが、計算が煩雑になるため、本解析のモデルは図 4-2 に示すような一般的な鋼床版 2 主桁桁橋の箱桁間を橋軸方向範囲 30m 分取り出したモデルを想定した。横桁間隔は 10m、横リブ間隔は 2.5m、鋼床版厚は 12mm、U リブ厚は 6mm である。

また、荷重は実橋載荷試験で用いた試験車の輪荷重⁴⁾を参考とし、後輪荷重として幅 150mm、長さ 250mm の全重量 47853N の等分布荷重 2 個(合計:95706N)として、載荷位置は橋軸方向縦リブ支間の 1/2 位置、橋軸直角方向は U リブと U リブの間とした(図 4-3 参照)。荷重載荷位置を U リブと U リブの間とした理由は、荷重を U リブ直上に載荷した場合より、U リブと U リブとの間に載荷したときの方が鋼床版の上縁、下縁に発生する応力が大きくなり、さらに U リブ直上では U リブを

支点とした負曲げモーメントが発生することより U リブ溶接部近傍の局所応力が大きくなることによる。

鋼床版とゴムラテックスモルタルをソリッド要素(8 節点)で、その他の部材をシェル要素(4 節点)で作成、各リブとデッキプレートとを剛結としたモデルで FEM(線形弾性)解析を行った。すなわち、U リブにはシェル要素を用いたため、溶着金属まではモデル化できていない。その際、デッキプレートにゴムラテックスモルタル(厚 20 mm, 40 mm, 60 mm)、舗装(厚 60 mm)をそれぞれ合成した。このとき、デッキプレートとゴムラテックスモルタル、デッキプレートとアスファルトは剛結とした。また、ゴムラテックスモルタルに割れが生じた場合も想定し(図 4-5)、ひび割れを模擬した幅 10mm のスリットを橋軸方向全長に渡ってモデル化した。本研究では死荷重は考慮しておらず、以降で示している応力値は後輪荷重のみによるものである。

本解析の拘束条件は、並進運動および回転運動を完全に拘束し、橋軸方向に向かって左端部および右端部の全節点を拘束した。これは、箱桁間部分のデッキプレート等が箱桁ウェブによって拘束されているためである。

本解析に用いたゴムラテックスモルタルの材料特性は基礎実験⁹⁾の結果により、表3-1に示す通りとした。デッキプレート上に施工されるアスファルトはデッキプレートと合成して外力に抵抗するが、その剛性は温度に著しく依存することが知られている⁶⁾。そこでアスファルトの材料特性は、過去の実験および解析^{7,8)}によって求められた10月の路面温度20℃のときの値を参考とした。

表 4-1 材料特性

	ヤング係数 (MPa)	ポアソン比
鋼材	210000	0.3
ゴムラテックスモルタル	21000	0.2
アスファルト	1500	0.35

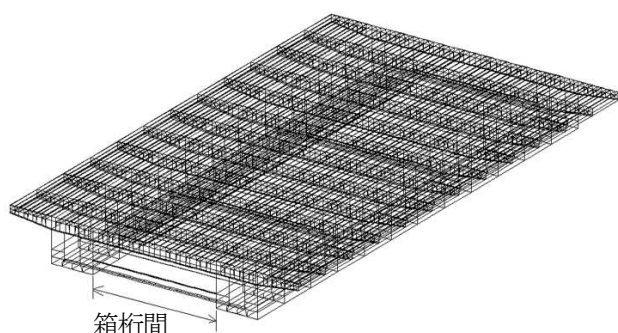


図4-1 2主箱桁橋

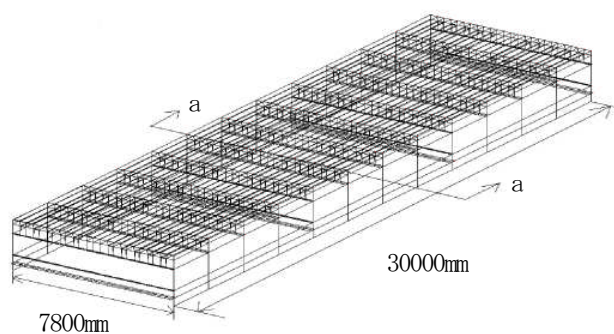


図4-2 解析モデル(箱桁間)

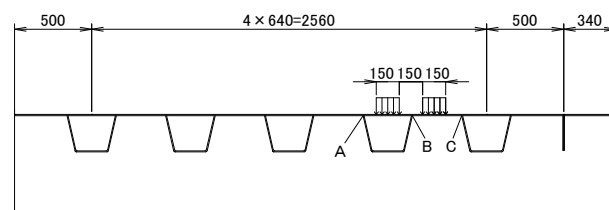


図4-3 a-a断面(中央より左端側)

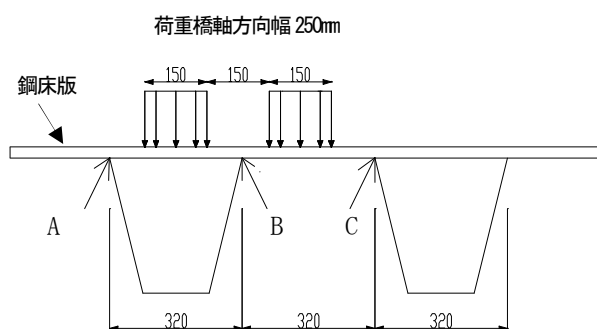


図 4-4 荷重載荷位置

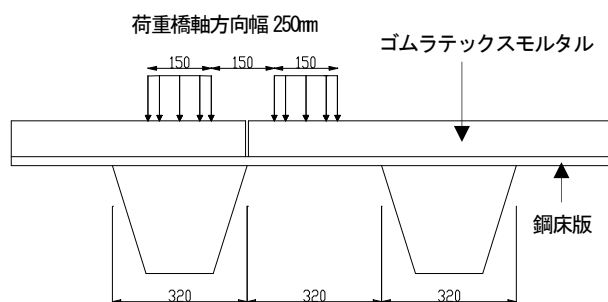


図4-5 荷重載荷位置(スリットあり)

5. 解析結果

この箱桁間のみをとりだした解析モデルが妥当かどうかを判断するために、過去の解析によって求められた完全2主箱桁橋モデルから算出された数値と、本解析から算出された数値を比較し、差異がほぼ生じていないことを確認した上で、鋼床版上にゴムラテックスモ

ルタルおよびアスファルトをデッキプレートに完全に剛結し、解析を行った。

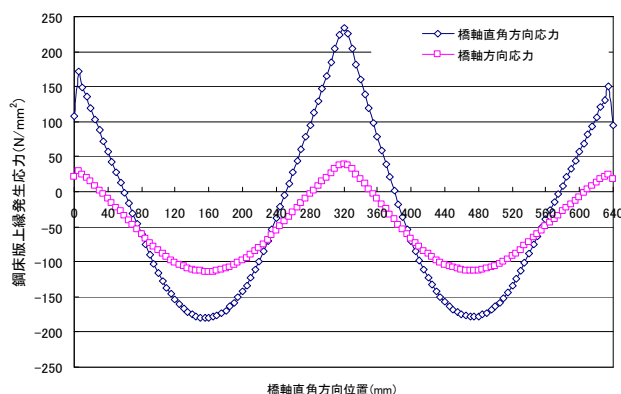
表5-1に解析ケースの一覧を示す。

表5-1 解析ケース

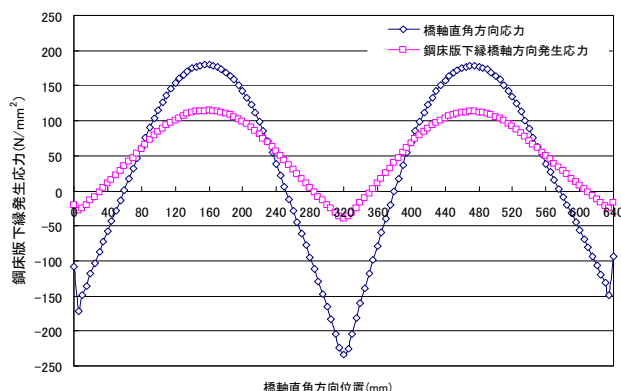
	ゴムラテックス	アスファルト舗装	スリット
CASE-1	-	-	-
CASE-2	20mm合成	-	-
CASE-3	40mm合成	-	-
CASE-4	60mm合成	-	-
CASE-5	-	60mm合成	-
CASE-6	60mm合成	-	10mmスリット

解析の結果から得られた輪荷重直下の鋼床版デッキの上縁・下縁に発生する応力を図 5-1～5-4 に示す。橋軸直角方向位置 0mm が図 4-3、図 4-4 の A 断面に対応し、320mm、640mm がそれぞれ B 断面、C 断面に対応する。

CASE-6 では、C 断面より左右に 5mm ずつ(合計 10mm)、橋軸方向全長に渡ってスリットをいれた。



a) 鋼床版上縁応力

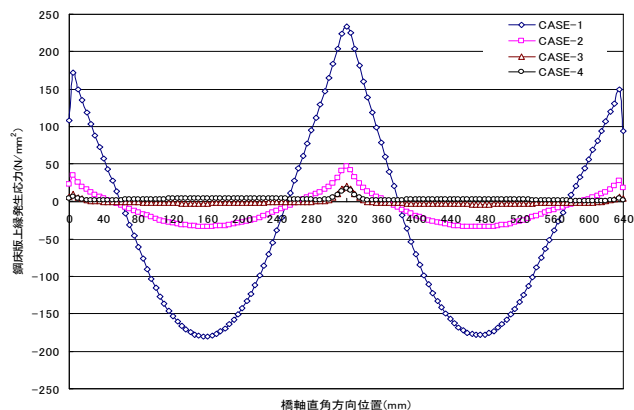


b) 鋼床版下縁応力

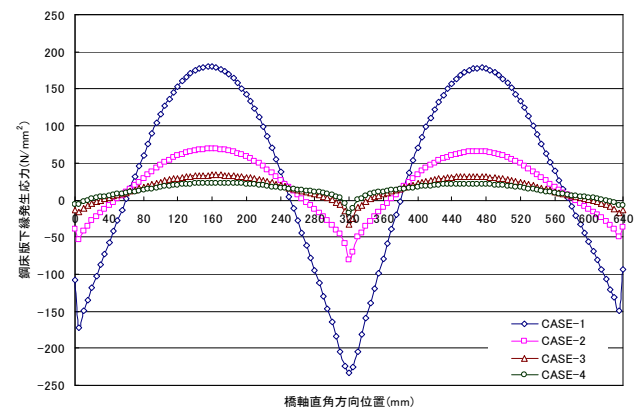
図5-1 CASE-1橋軸・橋軸直角方向応力図

図5-1を見るとわかるとおり、鋼床版に発生する応力

は橋軸方向応力より橋軸直角方向応力が卓越している。そのため、図5-2～5-4では橋軸直角方向に発生する応力に着目した。また、B断面ではUリブを支点とした比較的大きな負曲げが発生していることもこの結果より分かる。



a) 鋼床版上縁応力

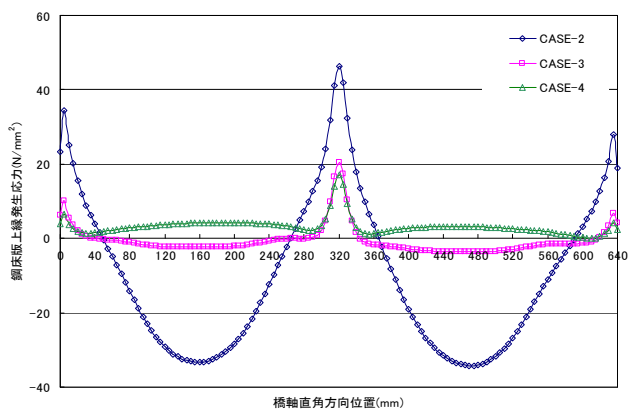


b) 鋼床版下縁応力

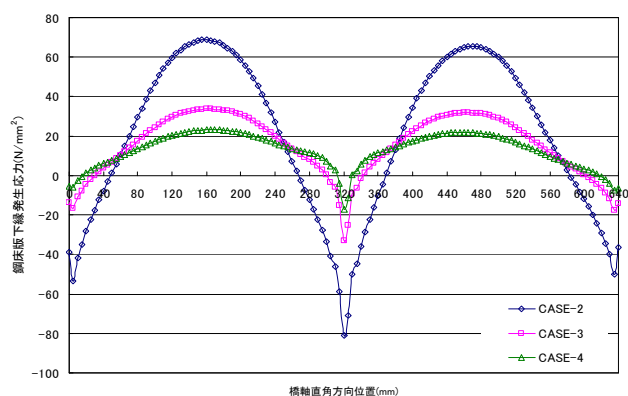
図5-2 橋軸直角方向応力図(CASE-1, 2, 3, 4)

図 5-2 より、ゴムラテックスモルタルを合成することにより、鋼床版の上縁および下縁に発生する応力が低減され、B断面の上縁および下縁で発生する応力も低減されることがわかる。CASE-1(ゴムラテックス 0mm)から CASE-2(ゴムラテックス 20mm)に変えることで鋼床版 U リブ上の局所応力は 1/3 以下に低減されることがわかる。

図 5-3 はゴムラテックスモルタルを合成した場合の比較の図である。ゴムラテックスモルタル厚を増加させることにより鋼床版に発生する応力が低減されることがわかる。CASE-2(ゴムラテックス 20mm)から CASE-3(ゴムラテックス 40mm)で応力低減が大きく、約 40%に低下していることがわかる。一方、CASE-3(ゴムラテックス 40mm)と CASE-4(ゴムラテックス 60mm)で鋼床版に発生する応力の差がほとんどないことがわかる。

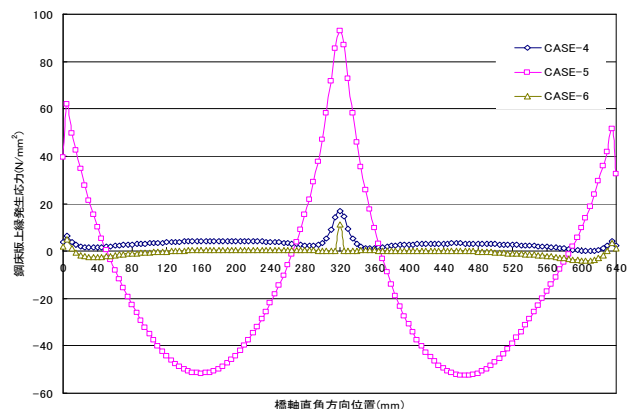


a) 鋼床板上縁応力

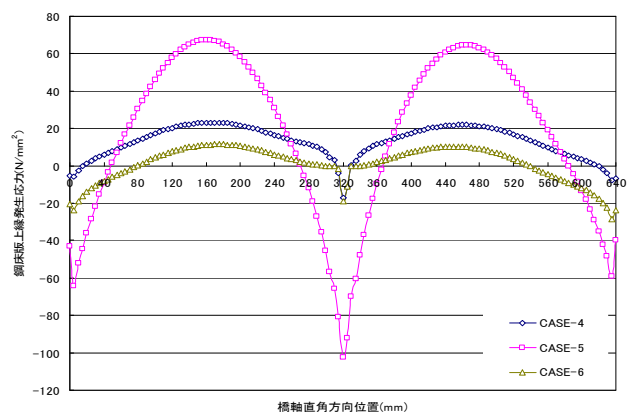


b) 鋼床版下縁応力

図 5-3 橋軸直角方向応力図(CASE-2, 3, 4)



a) 鋼床板上縁応力



b) 鋼床版下縁応力

図5-4 橋軸直角方向応力図(CASE-4, 5, 6)

図 5-4 はゴムラテックス 60mm, アスファルト 60mm, ゴムラテックス 60mm でスリットのある場合の比較である。同図より, CASE-4(ゴムラテックス 60mm)は, CASE-6(アスファルト 60mm)の 1/6 程度の応力であり, 応力低減効果が大きいことがわかる。また, スリットを入れた場合, 中間支点の剛性が低下することにより鋼床版全体の正曲げモーメントは増加しており, 中間支点の負曲げによる応力には差異がないことがわかる。

表 5-2 に CASE-1~6 の B 断面における鋼床板上縁・下縁に発生する応力および応力比を示す。ここで, B 断面とは図 4-4 に示されている U リブとデッキプレートとの接合部分である。

同表より, ゴムラテックスモルタルを 40mm 施すことにより, U リブ上の鋼床版応力は 11%に低下している。ゴムラテックスモルタル 60mm の場合は 7%となる。また, スリットを入れた場合にも応力は変化が少ないことがわかる。一方, アスファルトは 60mm 施しても, 全く施さない場合の 42%程度であり, 大きな効果が期待できるとは言い難い。

表 5-2 鋼床板上縁・下縁発生応力

		①b断面における鋼床 版上縁発生応力 (N/mm ²)	②b断面における鋼床 版下縁発生応力 (N/mm ²)	①-②	比
CASE-1	鋼床版のみ	234	-234	467	1
CASE-2	ゴムラテックス20mm	46	-81	128	0.27
CASE-3	ゴムラテックス40mm	21	-33	53	0.11
CASE-4	ゴムラテックス60mm	17	-17	34	0.07
CASE-5	アスファルト60mm	93	-102	195	0.42
CASE-6	ゴムラテックス60mm(スリットあり)	11	-19	30	0.06

6. まとめ

本解析結果より以下のことが言える.

- ① 図5-1より鋼床版に発生する応力については, 橋軸方向応力より橋軸直角方向応力が卓越することがわかる.
- ② 図5-2, 5-3より, B点ではUリブ接合部を支点とした負曲げに伴う比較的大きな応力が発生しているが, ゴムラテックスモルタルを合成することによってこの応力は減少し, 疲労対策に対して有効である.
- ③ 図5-4より, ゴムラテックスモルタル60mm合成の場合, アスファルトを60mm合成した場合より鋼床版上縁・下縁に発生する応力が1/6程度に減少した.
- ④ 図5-4より, ゴムラテックスモルタル60mm合成でスリットが生じた場合でも, ゴムラテックスモルタルを60mm合成してスリットがない場合と鋼床版に発生する応力に差異はほとんどない.

参考文献

- 1) Page J, Characterizing Axle Load Spectra for Fatigue Assessment of Steel Bridge
- 2) (社)日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 2002
- 3) 大垣, 済藤, 矢野, 宮本: 第5回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 2003
- 4) 亀井, 山本, 鈴木, 神野, 山内: 鋼床版 u トラフの局部強度, 三菱重工技報 Vol. 24, 1987-7
- 5) 千葉: ゴムラテックス混入コンクリート複合構造に関する基礎的研究, 日本大学修士論文, 2005
- 6) 松井繁之: 道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究, 大阪大学博士論文, 1984
- 7) 三木, 菅沼, 富澤, 町田: 鋼床版箱桁橋のデッキプレート近傍に発生した疲労損傷の原因, 土木学会論文集 No. 780/1 70, 57, 69, 2005. 1
- 8) 舗装マネジメントシステム, R. ハース/W. R. ハドソン著, 1989

STRESS ANALYSIS OF A ORTHOGONAL STEEL DECK PLATE COMPOSED BY MORTAR WITH GUM-LATEX

Hiroki EINAMA, Masaaki HOSHINO, Kazuo OHGAKI and Hiroshi SUGIURA

Orthogonal steel deck plates are adopted in highway bridges and urban viaducts etc. as a typical structural element. Recently, the fatigue failures of the steel deck plates have been observed in some heavy traffic road bridges. Fatigue cracks, which origin from the root portion of the U-rib welding and penetrate the deck plates may cause to subside to the surface of the bridge decks. As this type of fatigue crack grows vertically in to the deck plate and the deck plate is covered with pavement, it is very difficult to investigate the trace of the crack. One of the causes of the deck fatigue was the plate bending stress of deck plate, which has not been considered in the bridge deck design.

Authors propose to replace binder course of the steel deck plate such as the mastic asphalt, the young modulus of which is remarkably decreased in summer with synthesized gum-latex mortar. In this study, FEM analysis is carried out to examine the change of stress generated by composite effect in the steel deck plate.